

# Inhaltsverzeichnis

1	<b>Die 16-Bit-PIC-Klasse.....</b>	13
1.1	<b>Oszillatoren.....</b>	22
1.1.1	<b>Auswahl des Systemtakts .....</b>	23
1.1.2	<b>Umschalten des Systemtakts .....</b>	25
1.1.3	<b>Fail Save Clock Monitor (FSCM) .....</b>	26
1.2	<b>Datenspeicher.....</b>	27
1.2.1	<b>Organisation des Datenspeichers .....</b>	27
1.2.2	<b>Besondere Datenregister .....</b>	27
1.3	<b>Programmspeicher .....</b>	29
1.3.1	<b>Adressierung des Programmspeichers .....</b>	29
1.3.2	<b>Aufteilung des Programmspeichers.....</b>	30
1.3.3	<b>Lesen des Programmspeichers .....</b>	31
1.3.4	<b>Löschen und Schreiben des Programmspeichers .....</b>	32
1.4	<b>Power Management.....</b>	34
1.4.1	<b>Taktfrequenz verringern .....</b>	35
1.4.2	<b>Peripheriemodule abschalten .....</b>	36
1.4.3	<b>Sleep-Modus .....</b>	36
1.4.4	<b>IDLE-Modus .....</b>	38
1.4.5	<b>DOZE-Modus.....</b>	40
2	<b>PIC24-Assemblersprache.....</b>	41
2.1	<b>Funktion der Befehle .....</b>	42
2.2	<b>Überblick über die Befehle .....</b>	42
2.3	<b>Form der Befehle .....</b>	43
2.4	<b>Argumente .....</b>	44
2.4.1	<b>Konstante Argumente .....</b>	45
2.4.2	<b>Direkte Adressierung eines Fileregisters.....</b>	45
2.4.3	<b>Direkte Adressierung eines W-Registers .....</b>	45
2.4.4	<b>Doppelregister .....</b>	45
2.4.5	<b>Indirekte Adressierung .....</b>	45
2.4.6	<b>Befehle mit mehreren Argumenten.....</b>	47
2.4.7	<b>Befehle mit direktem Fileregister.....</b>	47
2.5	<b>Verzweigungsbefehle .....</b>	48
2.5.1	<b>Argumente der Verzweigungsbefehle .....</b>	49
2.5.2	<b>CALL und RCALL .....</b>	50

2.5.3	Bedingungsloser BRA-Befehl .....	50
2.5.4	Bedingte BRA-Befehle .....	50
2.6	Transferbefehle .....	51
2.6.1	MOV-Befehle .....	52
2.6.2	Austauschbefehle .....	52
2.6.3	PUSH und POP .....	52
2.6.4	TBLRD- und TBLWT-Befehle .....	53
2.7	Arithmetische und logische Befehle mit einem Operanden .....	55
2.8	Find-First-Befehle .....	57
2.9	Arithmetische und logische Befehle mit zwei Operanden .....	58
2.10	Befehle mit Bitargumenten .....	58
2.11	REPEAT-Befehl .....	60
2.12	Multiplikation .....	60
2.13	Division .....	61
3	<b>DSP-Einheit (nur dsPIC) .....</b>	<b>63</b>
3.1	DO-Befehl .....	64
3.2	Akkumulatoren ACCA und ACCB .....	64
3.3	Sättigung der Akkumulatoren .....	65
3.4	Überläufe .....	66
3.5	DSP-Zahlenformate .....	67
3.6	X- und Y-Datenbereiche .....	70
3.7	DSP-Befehle mit Prefetch .....	70
3.7.1	Prefetch-Operanden .....	71
3.7.2	Prefetch-Sonderfall für euklidische Abstände .....	72
3.7.3	Beschreibung der DSP-Befehle mit Prefetch .....	72
3.7.4	Modulo-Adressierung .....	73
3.8	DSP-Befehle ohne Prefetch (Akkumulatorbefehle) .....	74
3.9	DSP-Anwendung .....	75
4	<b>Assemblercode und C .....</b>	<b>79</b>
4.1	<b>Assemblercode in MPLAB C30/XC16 Files .....</b>	<b>79</b>
4.1.1	Built-in-Funktionen .....	79
4.1.2	Erstellen von eigenen Assemblerunterprogrammen .....	80
4.1.3	Inline-Assemblerzeilen im C30/XC16-Compiler .....	84
4.2	Der C30/XC16-Compiler und sein ASM-Code .....	85
4.2.1	Compileroptimierungen .....	85
4.2.2	Beobachten des erzeugten Assemblercodes .....	86
4.2.3	Erstes kleines Beispiel .....	87
4.2.4	Datentransfer .....	88
4.2.5	Multiplikation: 16 Bit • 16 Bit mit 32-Bit-Ergebnis .....	92

4.2.6	Division: 16 Bit / 16 Bit.....	94
4.2.7	Division: 32 Bit / 16 Bit.....	97
4.2.8	Anwendungsbeispiel GPS-Positionsdaten.....	99
<b>5</b>	<b>Umgang mit den Peripheriemodulen.....</b>	<b>101</b>
5.1	Ausschalten und Abschalten der Peripheriemodule .....	102
5.2	Initialisierung von Peripheriemodulen.....	103
5.3	Programmtechnische Verfahrensweisen in C .....	104
<b>6</b>	<b>Interrupts .....</b>	<b>107</b>
6.1	Interrupt-Status-Flags .....	107
6.2	Zulassen von Unterbrechungen .....	108
6.3	Ablauf von Unterbrechungen .....	108
6.4	Schachteln von Interrupts .....	109
6.5	Interrupt-Prioritäten .....	109
6.6	CPU-Priorität .....	110
6.7	Interrupt-Vektoren.....	110
6.8	Alternative Interrupt-Vektoren.....	111
6.9	Traps .....	111
6.10	Register des Interrupt-Systems .....	112
6.10.1	INTCON1-Register .....	113
6.10.2	INTCON2-Register .....	113
6.10.3	IFS- und IEC-Register .....	113
6.10.4	Prioritätsregister .....	114
6.11	Initialisieren der Interrupts.....	115
6.12	Schreiben der Interrupt-Routine .....	116
6.13	Ablauf von Interrupt-Routinen .....	119
<b>7</b>	<b>DMA .....</b>	<b>121</b>
7.1	DMA-Speicher .....	122
7.2	DMA-Transfer .....	122
7.3	Adressierungsarten .....	124
7.4	Register des DMA-Controllers.....	125
7.4.1	DMAxCON-Register .....	126
7.4.2	DMAxREQ-Register .....	126
7.4.3	DMAxPAD-Register .....	126
7.4.4	DMAxSTA- und DMAxSTB-Register.....	126
7.4.5	DMAxCNT-Register .....	127
<b>8</b>	<b>I/O-Ports .....</b>	<b>129</b>
8.1	Funktionen der Portpins .....	129
8.2	Eingänge und Ausgänge .....	130
8.3	Register der I/O-Ports .....	134

8.3.1	Zustandsregister PORTx und Latch-Register LATx .....	134
8.3.2	Richtungsregister TRISx.....	135
8.3.3	Open-drain-Register ODCx .....	136
8.3.4	AD1PCFG- und ANSx-Register.....	137
8.4	Interrupts durch Flanken an Portpins.....	138
8.5	Nutzung der Portpins durch Peripheriemodule .....	140
8.6	Peripheral Pin Select .....	140
8.7	Zuordnungsprozedere für Ausgangsfunktionen .....	142
8.8	Zuordnungsprozedere für Eingangspins .....	144
<b>9</b>	<b>Timermodule .....</b>	<b>149</b>
9.1	Register der Timermodule .....	149
9.1.1	TxCON-Register.....	149
9.2	Zählweise.....	150
9.2.1	Beispiel TMRint010: Beobachtung von Timer-Interrupt und Timerreset.....	151
9.3	Vorteiler .....	152
9.4	Timertypen .....	153
9.4.1	Typ A.....	153
9.4.2	Typ B .....	154
9.4.3	Typ C.....	155
9.5	Funktion als Zähler.....	155
9.6	Gated Timer.....	156
9.6.1	Beispiel T2GATE010: Demonstration des Gated-Timer-Modus.....	157
9.7	Lesen und Schreiben der Timerregister .....	158
9.8	32-Bit-Timerpaar .....	159
9.9	Schreiben und Lesen von 32-Bit-Timern .....	159
<b>10</b>	<b>Watchdog Timer.....</b>	<b>161</b>
10.1	Einschalten des Watchdogs.....	162
10.2	Überlaufperiode .....	162
10.3	Rücksetzen des Watchdog Timers .....	163
10.4	Watchdog-Fenster .....	163
<b>11</b>	<b>AD-Wandler .....</b>	<b>165</b>
11.1	Register der einfachen 10-Bit-AD-Wandler .....	167
11.1.1	ADxCON1-Register .....	167
11.1.2	ADxCON2-Register .....	168
11.1.3	ADxCON3-Register .....	168
11.1.4	AD1CHS-Register .....	169
11.1.5	AD1CSSL-Register .....	169
11.2	Konfiguration des AD-Wandlers .....	170

11.2.1	Konfiguration der Pins als analoge Eingänge.....	170
11.2.2	Festlegen der Referenzspannung .....	170
11.2.3	Festlegen des Wandlungstaks TAD.....	171
11.2.4	Festlegen der Abtastzeit.....	171
11.3	Einzelne Messungen .....	172
11.3.1	Beispiel ADsingle010: Einzelmessungen mit wechselnden Kanälen .....	174
11.4	Automatische Messfolgen .....	175
11.4.1	Starten der Wandlung .....	176
11.4.2	Ergebnisbuffer .....	177
11.4.3	Beispiel ADint010: Wiederholte Messung eines Kanals.....	177
11.5	12-Bit-AD-Wandler mit mehreren parallelen 10-Bit-Kanälen .....	181
11.5.1	ADxCON1-Register .....	181
11.5.2	ADxCON2-Register .....	181
11.6	Beispiel ADdma710: wiederholte Messung eines Kanals .....	183
12	Analoge Komparatoren .....	185
12.1	Komparatorereignis.....	186
12.2	Register der analogen Komparatoren .....	186
12.2.1	CMCON-Register für Dual-Comparator-Module .....	187
12.2.2	CMSTAT-Register für Triple-Comparator-Module .....	188
12.2.3	CMxCON-Register für Triple-Comparator-Module .....	189
12.3	Komparatorreferenzspannung.....	190
12.3.1	CVRCON-Register .....	191
12.4	Beispiel ADCMP010: Komparator und AD-Wandler an einem gemeinsamen Pin .....	192
13	Output-Compare-Module .....	195
13.1	Gemeinsame Grundfunktionalität.....	196
13.2	Output-Compare-Modi.....	196
13.2.1	Modi 0 bis 5 .....	197
13.2.2	Modi 6 und 7 .....	199
13.3	Dedizierte Timer der OC-Module .....	201
13.4	Controlregister der einfachen OC-Module .....	203
13.4.1	OCxCON-Register .....	203
13.5	Controlregister der komplexen OC-Module .....	204
13.5.1	OCxCON1-Register .....	204
13.5.2	OCxCON2-Register .....	205
13.6	Initialisierung der OC-Module.....	206
13.6.1	Beispiel OCpulse010: Erzeugen von Pulsen im 50-Hz-Takt.....	207
13.6.2	Beispiel OCppulse: Pulse mit vorgegebenem Offset.....	209
13.6.3	Beispiel OC1FLT110: Prüfen des OCx-Ausgangs im Fehlerfall .....	211

## 10 Inhaltsverzeichnis

<b>14</b>	<b>Input Capture.....</b>	<b>215</b>
14.1	Grundfunktionalität.....	215
14.2	Modi der Input-Capture-Module .....	216
14.3	Dedizierte Timer der IC-Module .....	217
14.4	Controlregister der einfachen IC-Module .....	218
14.4.1	ICxCON-Register.....	218
14.5	Controlregister der komplexen IC-Module .....	219
14.5.1	ICxCON1-Register.....	219
14.5.2	ICxCON2-Register.....	220
14.6	Initialisierung der IC-Module .....	221
<b>15</b>	<b>UART-Module.....</b>	<b>223</b>
15.1	Register der UART-Module.....	224
15.1.1	Status- und Controlregister UxSTA .....	224
15.1.2	UxMOD-Register.....	225
15.2	Baudrate .....	225
15.3	Senden eines Bytes.....	227
15.4	Die Status-Flags TRMT und UTXBF.....	228
15.5	Die Bits UTXISEL [1:0] .....	228
15.6	Senden von Zeichenketten .....	229
15.7	Sporadisches Senden von Daten .....	230
15.8	Empfangen von Bytes .....	231
15.9	Das Status-Flag URXDA.....	232
15.10	Die Bits URXISEL [1:0].....	232
15.11	RX-Interrupt-Routinen .....	233
15.12	Empfang von Strings mit vereinbartem Endzeichen .....	233
<b>16</b>	<b>SPI-Module.....</b>	<b>237</b>
16.1	Register der SPI-Module.....	238
16.1.1	SPIxSTAT-Register .....	238
16.1.2	SPIxCON1-Register.....	239
16.1.3	SPIxCON2-Register.....	239
16.2	Übertragungsgeschwindigkeit.....	240
16.3	Lesen und Schreiben von Daten .....	240
16.4	SPI-Status .....	241
16.5	Umgang mit dem SPI-EEPROM 25AA512 von Microchip .....	242
16.5.1	Lesen von Datenblocks .....	243
16.5.2	Schreiben von Datenblocks .....	244
16.6	Beispiel SPIEE010: Bedienen des seriellen EEPROM 25AA512 .....	246

<b>17</b>	<b>I<sup>2</sup>C-Bus.....</b>	<b>249</b>
17.1	Geschwindigkeit der I <sup>2</sup> C-Übertragung .....	249
17.2	Register der I <sup>2</sup> C-Module .....	250
17.2.1	I2CxCON-Register.....	250
17.2.2	I2CxSTAT-Register .....	251
<b>18</b>	<b>Parallel Master Port (PMP) .....</b>	<b>253</b>
18.1	Verwendung der Steuerleitungen (PMRD, PMWR oder PMRD, PMENB) .....	253
18.2	Register des PMP-Moduls.....	254
18.2.1	PMCON-Register.....	254
18.2.2	PMMODE-Register.....	255
18.2.3	PMADDR-Register.....	255
18.2.4	PMAEN-Register .....	256
18.3	Beispiel PMP010: SRAM IS61LV256AL .....	256
18.3.1	Schreiben ins SRAM .....	257
18.3.2	Lesen aus dem SRAM .....	258
18.3.3	Geschwindigkeit der SRAM-Routinen .....	258